

# Etude quantitative de la substance minérale du ciment dentaire humain

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève  
pour obtenir le grade de docteur en médecine dentaire

par

GILBERT ALAIN NÉRI

de Genève

Thèse n° 338

ZURICH 1978  
IMPRIMERIE BERICHTHAUS

La Faculté de Médecine, sur le préavis du Professeur *C.-A. Baud*, autorise l'impression de la présente thèse, sans prétendre par là émettre d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 22 décembre 1977

Le doyen: Professeur *Marcel Jenny*

Thèse n° 338

Cette thèse a paru dans la  
«Revue mensuelle suisse d'Odonto-stomatologie» 88: 469, 1978

# Etude quantitative de la substance minérale du ciment dentaire humain

THÈSE

présentée à la Faculté de Médecine de l'Université de Genève  
pour obtenir le grade de docteur en médecine dentaire

par

GILBERT ALAIN NÉRI

de Genève

Thèse n° 338

ZURICH 1978  
IMPRIMERIE BERICHTHAUS

Nous prions le Professeur *C.-A. Baud*, directeur de l'Institut de Morphologie de la Faculté de Médecine de Genève, de bien vouloir trouver ici l'expression de notre reconnaissance pour nous avoir suggéré le sujet de notre thèse et pour l'intérêt qu'il nous a constamment témoigné.

Nous remercions Monsieur *H.-J. Tochon-Danguy* et Mademoiselle *C. Demurisse* pour leur précieuse contribution.

Nos remerciements s'adressent également à tous les collaborateurs de l'Institut de Morphologie qui ont permis l'élaboration de ce travail, plus particulièrement à Monsieur *J.-Ph. Gerber* auquel nous devons la réalisation des illustrations.



*A mes parents*

*A Claire-Lise*

*A Jérôme*



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41545901\\_0040](https://archive.org/details/IA41545901_0040)

## Introduction

Depuis plus de 30 ans, le ciment dentaire est l'objet de travaux relatifs à sa formation (*Lefkowitz*, 1944; *Held*, 1951; *Paynter et Pudy*, 1958; *Selvig*, 1964), sa structure (*Held*, 1951; *Blackwood*, 1957; *Paynter et Pudy*, 1958; *Benson*, 1959; *Awazawa*, 1963; *Dreyfuss et Frank*, 1964; *Stern*, 1964; *Selvig*, 1965; *Furseth*, 1967, 1970; *Boyde et Jones*, 1968), sa composition (*Brudevold et coll.*, 1960; *Fullmer*, 1967; *Nakata et coll.*, 1972; *Neiders et coll.*, 1972; *Birkedal-Hansen et coll.*, 1974; *Christner et Robinson*, 1975; *Eastoe*, 1975; *Stepnick et coll.*, 1975; *Hals et Selvig*, 1977) et sa fonction (*Thoma et Goldman*, 1939; *Henry et Weinmann*, 1951; *Zander et Hürzeler*, 1958; *Akiyoshi et Inoue*, 1963). Un certain nombre d'entre eux s'intéressent plus particulièrement aux altérations provoquées par l'âge (*Louridis et coll.*, 1972; *Tonna*, 1976), la carie (*Furseth et Johansen*, 1968, 1970; *Furseth*, 1971; *Olsen et Johansen*, 1972; *Hals et Selvig*, 1977) ou la maladie parodontale (*Hürzeler et Zander*, 1959; *Selvig et Zander*, 1962; *Selvig*, 1966, 1969; *Herting*, 1967; *Yamada*, 1968; *Furseth*, 1970, 1971; *Armitage et Christie*, 1973). La plupart, cependant, sont essentiellement orientés sur l'étude de la matrice organique (*Tonge et Boulton*, 1958; *Herting*, 1964; *Stern*, 1964; *Fullmer*, 1967; *Birkedal-Hansen et coll.*, 1974; *Christner et Robinson*, 1975; *Eastoe*, 1975) ou des cellules (*Furseth*, 1967; *Bélanger*, 1968; *Jande et Bélanger*, 1970; *Frank et Steuer*, 1977). Mis à part les dosages entrepris pour déterminer la concentration de ses éléments chimiques (*Selvig et Selvig*, 1962; *Mierau*, 1970; *Nakata et coll.*, 1972; *Neiders et coll.*, 1972; *Olsen et Johansen*, 1972, 1973; *Stepnick et coll.*, 1975; *Hals et Selvig*, 1977), principalement de l'un d'eux, le fluor (*Yoon et coll.*, 1960; *Singer et Armstrong*, 1962; *Yardeni et coll.*, 1963; *Gedalia et coll.*, 1965; *Mierau*, 1970; *Banting et Stamm*, 1977), peu nombreux sont les travaux qui traitent spécifiquement du minéral cémentaire et de ses composants. Quelques auteurs, associant la microscopie électronique à la diffraction des rayons X (*Dreyfuss et Frank*, 1964; *Glimcher et coll.*, 1964; *Furseth*, 1970, 1971),

mentionnent la présence dans le ciment de cristaux de nature apatitique. D'autres, à l'aide de techniques microradiographiques, montrent que son taux de minéralisation est généralement inférieur à celui de la dentine de la même dent (*Amprino et Camanni*, 1956; *Dreyfuss et Frank*, 1964; *Furseth*, 1967), que l'existence de bandes alternées de radio-opacité variable indique l'apposition rythmique de sa substance minérale (*Röckert*, 1956; *Soni et coll.*, 1962; *Ishikawa et coll.*, 1964; *Selvig*, 1965; *Anneroth et coll.*, 1966; *Furseth et Johansen*, 1968) et qu'une couche hyperminéralisée peut apparaître à sa surface lorsqu'il est exposé au milieu buccal (*Yamamoto et coll.*, 1966; *Furseth et Johansen*, 1968; *Selvig*, 1969; *Furseth*, 1971). Même confirmées par l'analyse chimique (*Selvig et Selvig*, 1962; *Selvig et Zander*, 1962; *Hals et Selvig*, 1977), toutes ces observations restent purement qualitatives. Contrairement aux autres tissus calcifiés, nous ne trouvons dans la littérature aucune indication quantitative ni sur la cristallinité de la substance minérale du ciment ni sur son degré de minéralisation – à l'exception, dans ce dernier cas, des estimations de *Röckert* (1958) et d'*Ericsson* (1965), basées cependant sur des expériences réalisées sur le singe. Cette carence d'informations précises s'explique par la difficulté à isoler le ciment de la dentine sous-jacente et à le prélever de manière sûre et en quantité suffisante.

Aussi avons-nous tenté dans ce travail de mettre au point tout d'abord une méthode de prélèvement fiable; ensuite, d'évaluer, au moyen de la spectroscopie infrarouge et de la microdensitométrie automatique des microradiographies, l'indice de cristallinité et le degré moyen de minéralisation du ciment sain et du ciment parodontosique chez l'homme, d'en étudier l'évolution par rapport à l'âge et d'en comparer les éventuelles variations. De plus, il nous a paru intéressant, lorsque la quantité de ciment le permettait, de mesurer la concentration en fluor et d'en examiner les valeurs en fonction des paramètres déterminés précédemment par ces différentes techniques.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1 Matériel

Au total, 56 dents, des pluriradiculées pour la plupart, ont été sélectionnées pour les besoins de la spectroscopie infrarouge. Parallèlement, 49 d'entre elles ont été soumises à l'analyse microradiographique quantitative et 38 à un dosage de leur fluor cémentaire.

Ces dents proviennent toutes d'extractions effectuées *in vivo*, le matériel d'autopsie n'étant pas utilisable pour l'étude de la cristallinité, et représentent un échantillonnage d'adultes des 2 sexes âgés de 22 à 89 ans. Elles ont été classées respectivement en 4 groupes différents en fonction du diagnostic posé lors de l'examen clinique et radiologique précédant l'avulsion.

Groupe 1: dents saines du point de vue parodontal – adultes de moins de 45 ans<sup>1</sup>

Groupe 2: dents saines du point de vue parodontal – adultes de plus de 45 ans<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Age limite inférieur des dents parodontosiques

Groupe 3: dents atteintes du point de vue parodontal

Groupe 4: dents incluses ou semi-incluses

## 1.2 Méthodes

### 1.2.1 Préparation: fixation et séparation du ciment et de la dentine

Pour éviter toute déminéralisation, les échantillons sont plongés dans l'alcool absolu immédiatement après leur prélèvement. Les couronnes sont séparées des racines à l'aide d'un disque diamanté et les surfaces radiculaires soigneusement grattées avec un détartreur<sup>2</sup> pour en éliminer les fibres ligamentaires résiduelles et les éventuelles plaques de tartre.

Les racines sont ensuite collées à même un bloc de méthacrylate et, au moyen d'une scie-tronçonneuse de précision<sup>3</sup>, débitées en tranches longitudinales de 200 à 250 microns d'épaisseur. Pour chaque échantillon de dent monoradiculée, il est effectué une coupe plus épaisse, d'environ 500 microns, destinée à la microradiographie quantitative. Pour les pluriradiculées, une des racines a été préalablement sectionnée et réservée à cet effet.

Les coupes sont examinées à faible grossissement ( $25\times$ ) sous un microscope polarisant<sup>4</sup> pour délimiter exactement les rapports topographiques de la dentine et du ciment. Sous contrôle d'une loupe binoculaire (grossissement =  $6,3\times$ ), le ciment est pulvérisé par meulage à la fraise diamantée, actionnée à faible vitesse pour éviter tout échauffement (Dahm et coll., 1972), et la poudre recueillie par aspiration sur un filtre millipore, selon la technique de Brudevold et coll. (1956). La qualité des prélèvements est vérifiée en réexaminant les coupes au microscope polarisant: l'intégrité de la limite cémento-dentinaire en garantit la pureté (fig. 1).

### 1.2.2 Spectroscopie infrarouge

La détermination empirique de l'indice de cristallinité des tissus calcifiés par spectroscopie infrarouge a été préconisée par Termine (1966). Cette méthode est basée sur l'observation du dédoublement (splitting factor) de la vibration de déformation antisymétrique du groupement  $\text{PO}_4^{3-}$  en fonction du pourcentage pondéral d'hydroxyapatite contenu dans l'échantillon examiné. L'utilisation d'une variante de cette technique, ne faisant plus intervenir des rapports de surfaces, mais d'amplitudes (Blumenthal et coll., 1972), a permis d'améliorer la reproductibilité des valeurs calculées.

L'analyse infrarouge est exécutée sur le spectrophotomètre Perkin-Elmer 357 en utilisant la technique des disques de bromure de potassium. Les poudres de ciment sont d'abord tamisées à 200 mesh, puis, pour chacune d'elles, deux pesées indépendantes de  $2 \pm 0,02$  mg sont effectuées, auxquelles sont ajoutés 250 mg de KBr. Les mélanges, homogénéisés avec un vibreur automatique pendant 2 minutes, sont

<sup>2</sup> Instrument Deppeler

<sup>3</sup> Isomet 11-1180 Low Speed Saw, Buehler Ltd.

<sup>4</sup> Zeiss Standard Universal Pol

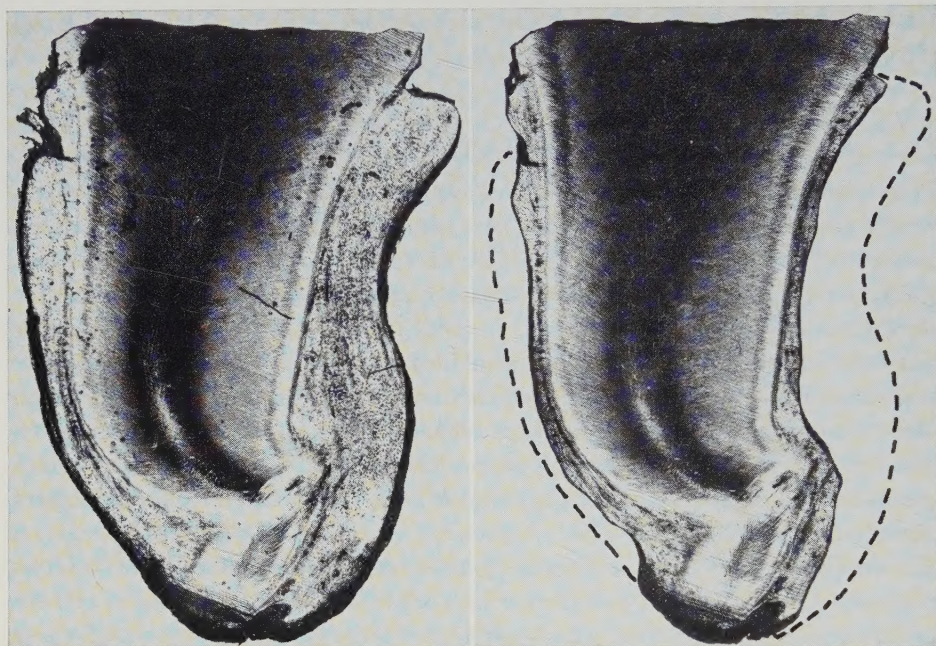


Fig. 1 Coupe de dent saine (40 ans) avant et après prélèvement du ciment. Grossissement :  $4,7\times$

comprimés sous vide à  $200 \text{ kg/cm}^2$ . L'enregistrement de chaque pastille ainsi obtenue est répété quatre fois sur le spectrophotomètre. L'information analogique est digitalisée et stockée sur bandes de papier perforées. Les données sont ensuite traitées sur ordinateur et l'emploi d'un programme de filtrage permet d'augmenter au maximum la précision des résultats ( $\pm 1$  d'indice de cristallinité). L'interprétation des valeurs du splitting factor en indices de cristallinité est réalisée en fonction d'une courbe-étalon établie avec des échantillons synthétiques de phosphate de calcium et d'hydroxyapatite testés par diffraction des rayons X.

### 1.2.3 Dosage du fluor

Les poudres de ciment sont traitées pour le dosage du fluor selon la technique de l'électrode spécifique décrite par *McCann* (1968). Après incinération à  $800^\circ\text{C}$  pendant 4 heures, 2 à 3 prélèvements de 1 mg chacun sont effectués (suivant la quantité de résidu calciné disponible par échantillon) et immédiatement dissous, sous agitation constante, dans 2 ml d'acide perchlorique 0,5 M. Les solutions sont laissées au repos pendant 12 heures, puis complétées par 8 ml de citrate de sodium 0,5 M. Le taux de fluor est ensuite déterminé au moyen de l'électrode spécifique<sup>5</sup>, préalablement étalonnée à l'aide de solutions standards de fluorure de sodium<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Orion Fluoride Electrode, modèle 94-09

<sup>6</sup> Orion Sodium Fluoride Standard Solutions 0,1 M et 1 M

## 1.2.4 Microradiographie quantitative

### 1.2.4.1 Préparation: inclusion et confection des coupes

Les racines et coupes sélectionnées pour la microradiographie quantitative sont incluses dans le méthacrylate de méthyle selon la technique de *Baud et Morgenthaler* (1952). Après orientation convenable, les blocs sont découpés à la scie-tronçonneuse<sup>7</sup>, refroidie à l'alcool, de manière à obtenir pour chacun d'eux plusieurs coupes d'environ 150 microns, amenées ensuite par usure entre deux plaques de verre dépoli à une épaisseur de  $100 \pm 1$  microns. L'épaisseur est contrôlée à l'aide d'un comparateur micrométrique<sup>8</sup>. Les coupes sont ensuite nettoyées aux ultra-sons dans un bain d'alcool pendant 3 minutes.

### 1.2.4.2 Microradiographies et analyse microdensitométrique

Les microradiographies sont obtenues au moyen du rayonnement monochromatique  $K\alpha$  du cuivre, de 1,54 Å de longueur d'onde, émis par un appareil à micro-foyer (Hilger Microfocus) sous 40 kV et 3 mA. Les caméras, mises au point à l'Institut de Morphologie, sont animées d'un mouvement de rotation constant à l'intérieur du champ de rayons X. Elles sont munies d'un dispositif à vide permettant de maintenir la coupe en contact avec le film pendant la durée de l'exposition (environ 4 heures). Les coupes sont placées à côté d'un étalon d'aluminium, selon la technique de *Baud* (1957). Le film utilisé est le Spectroscopic 649-0 Kodak. Les microradiographies sont développées sous agitation constante à 18 °C pendant 5 minutes, puis fixées, séchées et montées entre lame et lamelle.

Les microradiographies sont d'abord examinées au microdensitomètre Joyce-Loebl, essentiellement pour vérifier la régularité de l'exposition. Puis, l'analyse quantitative est effectuée au moyen du microdensitomètre automatique à balayage, selon la technique de *Baud et Baud* (1973). L'appareil, une fois étalonné, mesure environ 10 000 points par échantillon.

Digitalisés et distribués dans 6 canaux différents en fonction de la radiodensité des points analysés, les résultats apparaissent sous la forme d'un histogramme montrant le taux de minéralisation du ciment, exprimé en grammes de minéral par cm<sup>3</sup> et en % du volume total de l'échantillon.

## 2. Résultats

### 2.1 Dents saines (groupes 1 et 2)

Mis en évidence par spectroscopie infrarouge, les indices de cristallinité de la phase minérale du ciment sain permettent d'établir le graphique de la figure 2. Chez le jeune adulte, on remarque dès la 25<sup>e</sup> année un indice de  $63,3 \pm 0,9$ . Cette valeur s'accroît progressivement pour atteindre  $65,6 \pm 1,0$  à 40 ans ( $r = 0,82$ ) et se stabilise entre 45 et 50 ans pour former dès lors un plateau de  $66,8 \pm 1,0$  ( $r = 0,09$ ).

<sup>7</sup> Isomet 11-1180 Low Speed Saw, Buehler Ltd.

<sup>8</sup> Micromètre Compac

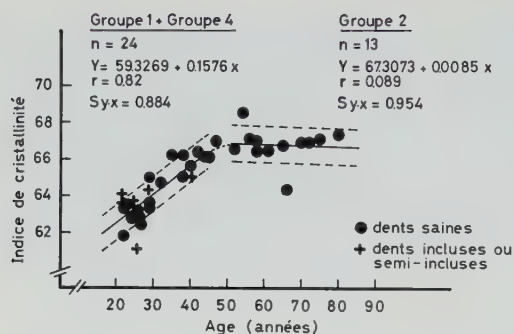


Fig. 2 Evolution avec l'âge de la cristallinité de la substance minérale du ciment des dents saines, incluses ou semi-incluses

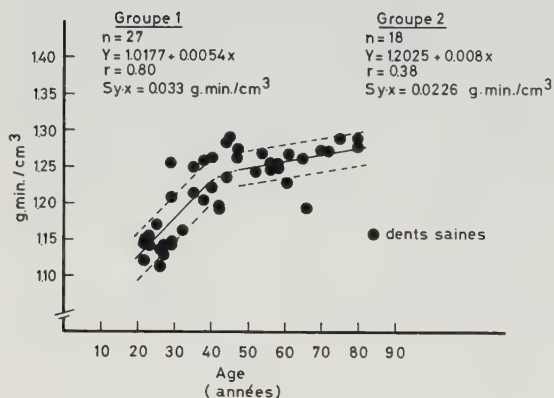


Fig. 3 Evolution avec l'âge de degré de minéralisation de la substance minérale du ciment des dents saines

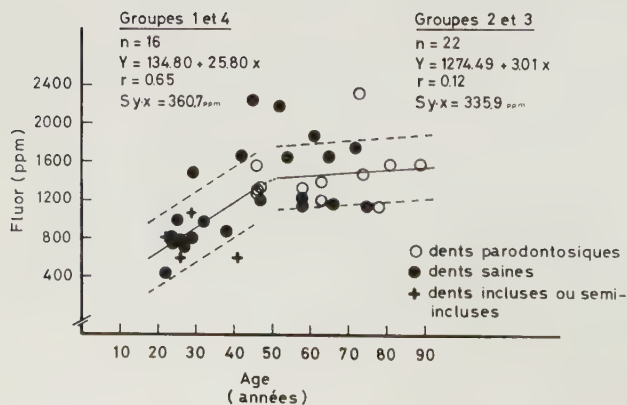


Fig. 4 Evolution avec l'âge de la teneur en fluor de la substance minérale du ciment des dents saines, incluses ou semi-incluses et parodontosiques

Parallèlement, on observe par rapport à l'âge une évolution similaire du degré de minéralisation, mesuré par microradiographie quantitative (fig. 3). D'une valeur de  $1,15 \pm 0,03$  g min/cm<sup>3</sup> à 25 ans, le taux de minéralisation moyen passe à  $1,23 \pm 0,03$  g min/cm<sup>3</sup> à 40 ans ( $r = 0,80$ ) pour finalement se fixer, après 50 ans, à un niveau de  $1,26 \pm 0,02$  g min/cm<sup>3</sup> ( $r = 0,38$ , non significatif). Les différents histogrammes de répartition représentés sur la figure 5 révèlent par ailleurs un taux de

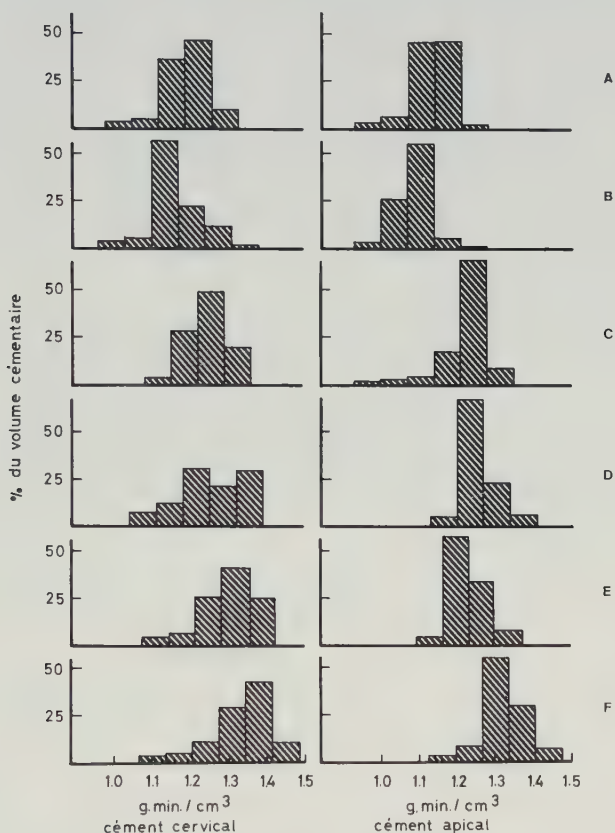


Fig. 5 Histogrammes montrant la distribution du minéral cémentaire en fonction du degré de minéralisation, exprimé en g min/cm<sup>3</sup>

|                                  | cément cervical   | cément apical     |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| A = dent saine (23 ans)          | 1,15 <sub>5</sub> | 1,14 <sub>1</sub> |
| B = dent incluse (26 ans)        | 1,11 <sub>8</sub> | 1,08 <sub>6</sub> |
| C = dent saine (40 ans)          | 1,25              | 1,22 <sub>6</sub> |
| D = dent saine (47 ans)          | 1,26 <sub>1</sub> | 1,25 <sub>9</sub> |
| E = dent parodontosique (54 ans) | 1,30 <sub>2</sub> | 1,23 <sub>2</sub> |
| F = dent parodontosique (72 ans) | 1,32 <sub>8</sub> | 1,31 <sub>9</sub> |

minéralisation plus faible pour le ciment apical que pour le ciment cervical. Cette différence de distribution de la substance minérale, valable aussi bien pour les dents saines (fig. 5, A, C, D) que pour les dents incluses ou semi-incluses (fig. 5, B), n'est cependant pas significative ( $p > 0,1$ ).

La corrélation entre l'âge et la concentration en fluor du ciment est moins bonne que celles établies entre l'âge et la cristallinité de sa substance minérale ou son degré de minéralisation (fig. 4). A 25 ans, le taux de fluor cémentaire est de  $780 \pm 361$  ppm; à 40 ans, il atteint  $1,160 \pm 361$  ppm ( $r = 0,65$ ) et, après 50 ans, se maintient à une valeur moyenne de  $1,460 \pm 336$  ppm ( $r = 0,12$ ).

## 2.2 Dents incluses ou semi-incluses (groupe 4)

La cristallinité et la teneur en fluor de la substance minérale du ciment des dents incluses ou semi-incluses ne diffèrent pas significativement des valeurs obtenues pour les dents saines en occlusion de même âge ( $p > 0,2$ ). Par contre, comparé aux mêmes témoins, le degré de minéralisation apparaît nettement plus faible:  $1,11 \pm 0,02$  g min/cm<sup>3</sup> à 25 ans ( $p < 0,002$ ).

## 2.3 Dents parodontosiques (groupe 3)

La cristallinité du minéral cémentaire des dents parodontosiques est très significativement supérieure à celle des dents saines d'âge équivalent (fig. 6,  $p < 0,00005$ ). L'indice passe de  $67,9 \pm 0,6$  à 50 ans à  $68,9 \pm 0,6$  à 70 ans ( $r = 0,80$ ), la valeur la plus forte enregistrée pour un échantillon ayant atteint 69,8. Il convient toutefois de remarquer que cette différence de cristallinité entre ciment sain et ciment parodontosique ne devient vraiment significative que pour les dents les plus âgées (avant 50 ans,  $p > 0,05$ ).

Les taux de fluor déterminés au niveau du ciment des dents parodontosiques ne sont pas significativement différents de ceux mesurés chez les témoins sains du groupe 2 ( $p > 0,5$ ).

Concernant le degré de minéralisation cémentaire des dents parodontosiques, les données obtenues par microradiographie quantitative nous permettent de formuler plusieurs observations:

a) Il existe, contrairement à tous les autres groupes, une différence significative du taux de minéralisation entre ciment apical et ciment cervical ( $p < 0,01$ ). Il faut donc distinguer les deux zones (fig. 5, E, F). Cependant, la figure 7 montre bien que cette différence de distribution minérale, hautement significative pour le ciment parodontosique des dents jeunes ( $p < 0,0005$ ) ne l'est plus pour celui des dents âgées ( $p > 0,2$ ).

b) Les mesures effectuées dans les zones cervicales du ciment parodontosique ne révèlent aucune corrélation significative entre l'âge et le degré de minéralisation. Ce dernier se maintient à un niveau moyen de  $1,32 \pm 0,02$  g min/cm<sup>3</sup> ( $r = 0,45$ , non significatif), la valeur la plus haute enregistrée pour un échantillon étant de  $1,37$  g min/cm<sup>3</sup>. Il n'en va pas de même pour le ciment parodontosique apical:

Fig. 6 Evolution avec l'âge de la cristallinité de la substance minérale du ciment des dents parodontosiques et des témoins sains de même âge

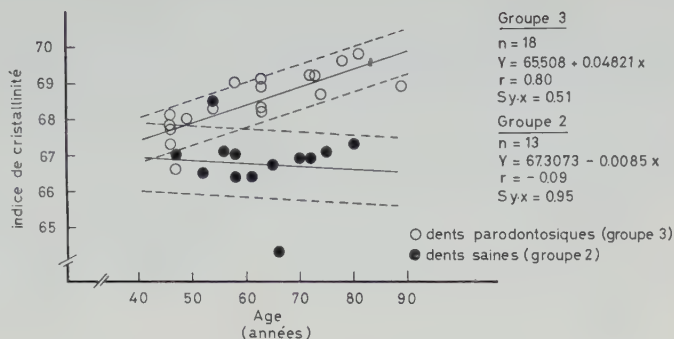


Fig. 7 Evolution avec l'âge du degré de minéralisation de la substance minérale du ciment cervical et du ciment apical des dents parodontosiques

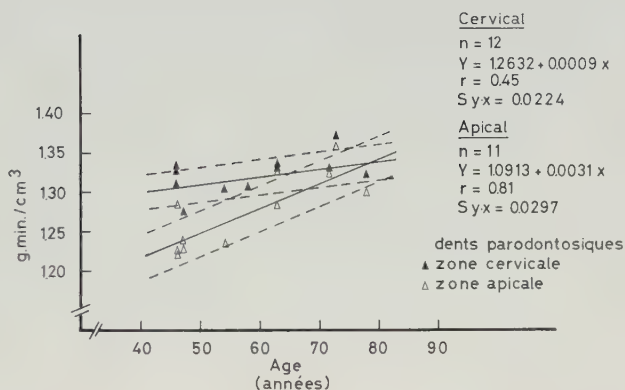
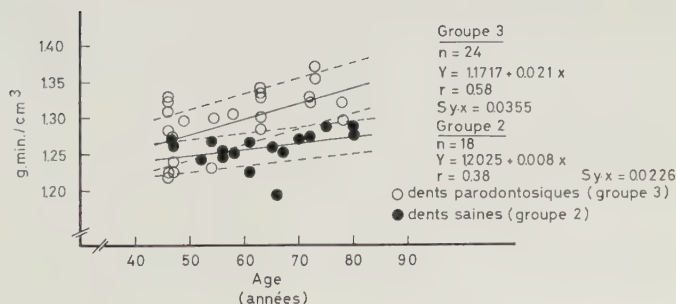


Fig. 8 Evolution avec l'âge du degré de minéralisation de la substance minérale du ciment des dents parodontosiques et des témoins sains de même âge



le taux de minéralisation moyen passe de  $1,25 \pm 0,03$  g min/cm<sup>3</sup> à 50 ans à  $1,31 \pm 0,03$  g min/cm<sup>3</sup> à 70 ans ( $r = 0,81$ ). En d'autres termes, on n'observe aucune différence significative du degré de minéralisation entre dents parodontosiques jeunes et dents parodontosiques âgées pour le ciment cervical ( $p > 0,1$ ), alors que cette différence existe de manière très significative pour le ciment apical ( $p < 0,001$ ). c) Enfin, comparé à celui des dents saines du groupe 2, le taux de minéralisation moyen du ciment total des dents parodontosiques est significativement plus élevé (fig. 8,  $p < 0,002$ ). Par contre, si l'on ne considère que le ciment apical des dents parodontosiques jeunes (moins de 50 ans), aucune différence n'apparaît plus avec le groupe témoin ( $p > 0,2$ ).

### 3. Discussion

Un examen approfondi de la littérature montre qu'il n'existe aucune information ni sur la cristallinité de la substance minérale ni sur le degré de minéralisation du ciment dentaire chez l'homme. Seuls Röckert (1958) et Ericsson (1965), à la suite d'études microradiographiques effectuées sur les dents du Macaque, en fournissent une évaluation quantitative: pour le premier son taux de calcium estimé à 0,32 mg/mm<sup>3</sup>, pour l'autre son pourcentage de minéral par unité de volume égal à 43,3% – ce qui correspond approximativement<sup>9</sup> à un taux de minéralisation de 1,36 g min/cm<sup>3</sup>.

Sur le fluor cémentaire, la documentation est par contre plus abondante. Les travaux de Yoon et coll. (1960), Singer et Armstrong (1962), Yardeni et coll. (1963) et Gedalia et coll. (1965) montrent que le ciment est le tissu calcifié dont la teneur en fluor est la plus forte. Brudevold et coll. (1960) citent des taux atteignant dans certains cas 9,000 ppm (0,9%). Nos valeurs, échelonnées entre 600 et 2,300 ppm, sont à rapprocher des taux rapportés pour des régions dont l'eau est peu fluorée (Gedalia et coll., 1965).

De nombreux auteurs ont souligné l'analogie structurale et chimique de l'os et du ciment (entre autres: Thoma et Goldman, 1939; Lefkowitz, 1944; Held, 1951; Tonge et Boulton, 1958; Dreyfuss et Frank, 1964; Selvig, 1965; Kotanyi, 1966; Fullmer, 1967).

En comparant nos résultats avec ceux publiés pour le tissu osseux, nous constatons que cette parenté se retrouve aussi bien pour leur cristallinité que pour leur degré de minéralisation:  $63,3 \pm 0,9$  et  $1,15 \pm 0,03$  g min/cm<sup>3</sup> pour le ciment jeune contre  $62,7 \pm 1,7$  et  $1,10 \pm 0,07$  g min/cm<sup>3</sup> pour l'os iliaque chez des patients de moins de 40 ans (Baud et coll., 1977).

Nos mesures microdensitométriques font apparaître de plus un taux de minéralisation plus faible pour le ciment apical (cellulaire) que pour le ciment cervical (acellulaire). Cette différence, même si elle reste non significative pour les dents saines, confirme quantitativement les observations microradiographiques de Soni

<sup>9</sup> Approximativement, car basé sur le poids spécifique de l'hydroxyapatite pure de 3,15 g/cm<sup>3</sup>

et coll. (1962), d'Ishikawa et coll. (1964), d'Ericsson (1965), de Furseth (1967) et de Fujii (1969). Selvig et Selvig (1962) ne la mentionnent cependant que pour le cément cervical des dents âgées. Il est vrai que leurs résultats sont basés essentiellement sur des dosages chimiques exprimés en pourcentages de substance minérale par unité de poids et non par unité de volume. Or, les appréciations pondérales peuvent conduire à des interprétations erronées, ainsi que le relèvent Pouëzat et Baud (1975), observant une différence de même ordre avec les mêmes auteurs à propos de la minéralisation de la dentine des dents parodontosiques.

### 3.1 Evolution du cément sain

Les valeurs obtenues par spectroscopie infrarouge, microradiographie quantitative ou au moyen de l'électrode spécifique mettent en évidence au niveau du minéral cémentaire une augmentation avec l'âge de sa cristallinité, de son degré de minéralisation et de sa teneur en fluor.

L'accroissement du fluor cémentaire avec le temps est constaté par Mierau (1970), Nakata et coll. (1972) et Stepnick et coll. (1975). Il dépend cependant moins de l'âge des individus chez lesquels les échantillons sont prélevés que de la durée pendant laquelle ils ont été exposés à une eau ou un produit hyperfluoré (Nakata et coll. 1972; Banting et Stamm, 1977). Cette interférence explique la dispersion de nos résultats et leur corrélation relativement faible avec l'âge, notée dans la figure 4. Nous y reviendrons à propos des dents parodontosiques.

L'augmentation parallèle de la cristallinité et du degré de minéralisation est un phénomène normalement observé pour l'os en période de croissance, aussi bien chez le rat (Termine et Posner, 1966) que chez l'homme, dans les paraostéoarthropathies (Baud et coll., 1973) et qui correspond à un processus de vieillissement du tissu calcifié. Pour l'os humain adulte, cette augmentation reste faible et non significative (Baud et coll., 1977), alors que pour le cément, les valeurs enregistrées suivent une forte progression entre 20 et 50 ans pour atteindre un niveau moyen de  $66,8 \pm 1,0$  et de  $1,26 \pm 0,02$  g min/cm<sup>3</sup> respectivement et s'y stabiliser passé cet âge. Cette évolution particulière rend compte d'une différence primordiale entre l'os et le cément : l'activité de remaniement. Nous savons que le degré et l'intensité de celle-ci déterminent les caractéristiques de la minéralisation du tissu osseux (Baud et coll., 1977). Ainsi, chez la souris, où cette activité est faible, voire nulle, la cristallinité de la phase minérale augmente progressivement avec l'âge. Chez l'homme adulte, où le remaniement est considérable, cette augmentation reste peu marquée. Or, le remaniement au niveau du cément se caractérise avant tout par une apposition lente, mais continue (entre autres : Kronfeld, 1938; Gottlieb, 1942, 1943; Lefkowitz, 1944; Held, 1951; Zander et Hürzeler, 1958; Kerr, 1961; Stern, 1964; Selvig, 1965; Kotanyi, 1966; Tonna, 1976). La résorption de type ostéoclastique n'apparaît que comme la manifestation de processus pathologiques : traumatismes d'origine occlusale ou orthodontique (Kronfeld, 1938; Henry et Weinmann, 1951; Benson, 1959; Tonna, 1976; Rygh, 1977). Frank et Steuer (1977)

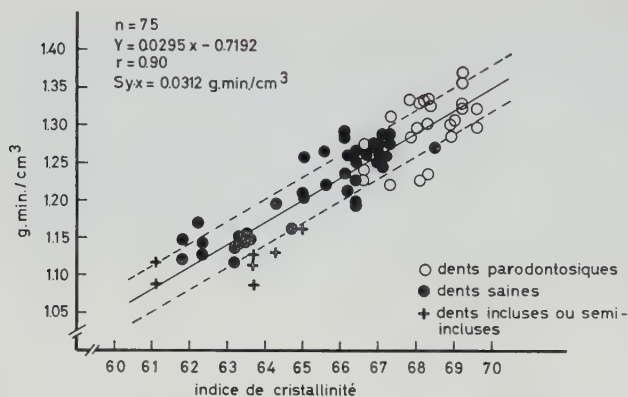


Fig. 9 Variation de la cristallinité de la substance minérale du ciment des dents saines, incluses ou semi-incluses et parodontosiques en fonction de son degré de minéralisation

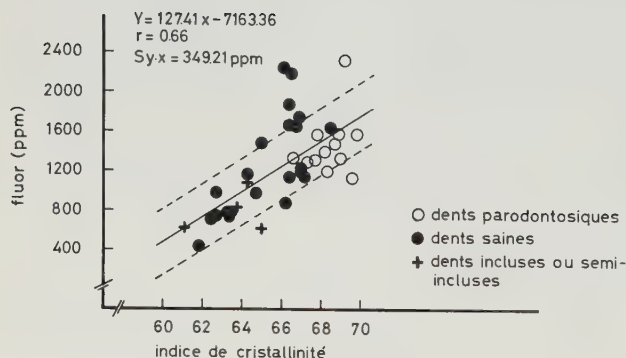


Fig. 10 Variation de la cristallinité de la substance minérale du ciment des dents saines, incluses ou semi-incluses et parodontosiques en fonction de sa teneur en fluor

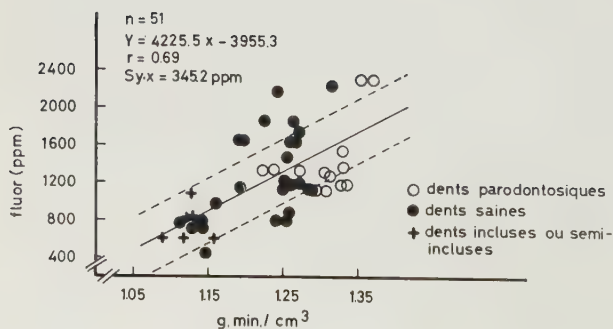


Fig. 11 Variation du degré de minéralisation de la substance minérale du ciment des dents saines, incluses ou semi-incluses et parodontosiques en fonction de sa teneur en fluor

signalent du reste que l'observation de «cémentoclastes» au microscope électronique est normalement exceptionnelle.

L'importance de l'apposition cémentaire est directement liée à l'activité fonctionnelle de la dent (*Akiyoshi et Inoue*, 1963; *Louridis et coll.*, 1972; *Tonna*, 1976). Elle n'en dépend pas exclusivement: là où cette activité est nulle, la cémentogenèse se poursuit – pour exemples les hyperplasies décrites par *Kronfeld* (1927, 1938) et *Thoma et Goldman* (1939). Nos résultats montrent cependant qu'au niveau des dents incluses (non fonctionnelles), le degré de minéralisation du ciment déposé reste inférieur à celui des dents en occlusion de même âge.

### 3.2 Evolution du ciment parodontosique

L'exposition du ciment au milieu buccal, réalisée expérimentalement (*Furseth*, 1970) ou lors d'atteinte parodontale, entraîne des modifications au niveau de sa structure et de sa composition. Les études microradiographiques décrivent dans ces conditions l'apparition d'un liséré superficiel plus dense aux rayons X (*Selvig et Zander*, 1962; *Yamamoto et coll.*, 1966; *Yamada*, 1968), souvent accompagné d'une zone de déminéralisation sous-jacente, surtout au niveau des surfaces cémentaires cariées (*Herting*, 1967; *Furseth*, et *Johansen*, 1968; *Selvig*, 1969; *Furseth*, 1971; *Hals et Selvig*, 1977). Au microscope électronique, la distribution des cristaux apparaît perturbée: agglomérés en paquets, larges et atypiques ou au contraire peu nombreux, voire absents et de taille réduite (*Selvig*, 1966, 1969; *Yamada*, 1968; *Furseth et Johansen*, 1970). Les analyses chimiques révèlent d'autre part une augmentation de la concentration de certains éléments minéraux: Ca, P, Mg et F entre autres (*Selvig et Zander*, 1962; *Nakata et coll.*, 1972; *Olsen et Johansen*, 1973). En bref, toutes les observations mettent l'accent sur un remaniement du contenu minéral, caractérisé par des phénomènes simultanés de déminéralisation et de reminéralisation à partir de l'environnement salivaire. Il semble cependant que des processus de calcification soient plus fréquemment observés (*Selvig*, 1969).

Par rapport aux témoins sains de même âge, nos propres résultats montrent une augmentation parallèle de la cristallinité et du degré de minéralisation de la substance minérale du ciment exposé. La comparaison de ces deux paramètres pour tous nos échantillons permet d'établir la droite de régression illustrée sur le graphique de la figure 9. Nous pouvons y constater que les points déterminés pour le ciment parodontosique apparaissent en prolongement de ceux obtenus pour le ciment sain. En d'autres termes, le remaniement du minéral cémentaire provoqué par l'atteinte parodontale se traduit par une hypermaturation, c'est-à-dire une accentuation de son vieillissement. Fonctionnellement, ce processus correspond à une diminution de son activité d'apposition (*Hürzeler et Zander*, 1959). De plus, la différence entre ciment cervical et ciment apical, déjà notée pour les dents saines, est très significative, du moins pour les dents parodontosiques les plus jeunes. Le ciment cervical est en effet le premier touché par le milieu salivaire. Avec

le temps, toutefois, cette différence s'amenuise progressivement pour finalement disparaître. Cette évolution tend à montrer que le remaniement minéral du ciment exposé n'est pas seulement un phénomène superficiel, comme le signalent la plupart des auteurs, mais intéresse la totalité du tissu. *Pouëzat* et *Baud* (1975) le mettent d'ailleurs en évidence plus profondément, au niveau de la dentine parodontosique. Nos résultats, par contre, n'indiquent aucune différence entre le ciment sain et le ciment parodontosique quant à leur teneur en fluor. Ils contredisent en cela ceux de *Nakata* et coll. (1972), *Olsen* et *Johansen* (1972, 1973), *Stepnick* et coll. (1975) et *Hals* et *Selvig* (1977). Précisons que les différences observées par ces auteurs sont particulièrement évidentes pour les échantillons provenant de régions où l'eau potable est très fluorée (*Nakata* et coll., 1972; *Stepnick* et coll., 1975). De plus, il convient de rappeler que les taux de fluor déterminés au niveau d'un tissu aussi «réceptif» (*Yardeni* et coll., 1963; *Zipkin*, 1970) que le ciment dénudé dépendent essentiellement de l'environnement chimique de la cavité buccale ou de la poche parodontale. L'application de fluorure de sodium sur des surfaces cémentaires peut modifier leur teneur en substance minérale (*Furseth*, 1970).

L'importance des apports exogènes incontrôlables (pâtes dentifrices ou autres topiques fluorés) ne doit donc pas être sous-estimée. Il faut cependant admettre que notre technique de mesure, appliquée au ciment total, a l'inconvénient de n'en différencier ni les zones apicales et cervicales (*Nakata* et coll., 1972) ni les couches superficielles et profondes (*Hals* et *Selvig*, 1977). Notre but reste d'évaluer le fluor cémentaire en fonction des indices de cristallinité et des taux de minéralisation déterminés respectivement sur les échantillons de poudres et les microradiographies des mêmes dents. La comparaison des taux de fluor avec ces deux derniers paramètres, représentée par les droites de régression des figures 10 et 11, montre que le fluor favorise la transformation cristalline du minéral cémentaire et l'augmentation de son degré de minéralisation. Les mêmes phénomènes sont observés pour le tissu osseux des souris et des patients ostéoporotiques traités au fluor (*Baud* et coll., 1976), ainsi que chez les sujets atteints de fluorose industrielle (*Baud* et coll., 1977).

### Résumé

Une étude quantitative de la substance minérale du ciment dentaire humain a été effectuée au moyen de différentes méthodes biophysiques.

Dans les dents saines, le degré de minéralisation moyen du ciment, la cristallinité et la teneur en fluor de la substance minérale augmentent avec l'âge.

Cette évolution, typique du processus de vieillissement physiologique des tissus calcifiés, est spécialement marquée pour le ciment en raison de l'absence d'un remaniement, tel qu'on l'observe pour le tissu osseux.

Le ciment des dents incluses ou semi-incluses se différencie de celui des dents saines en occlusion par un taux de minéralisation significativement plus faible.

Au niveau des dents parodontosiques, l'augmentation avec l'âge de la cristallinité et du degré de minéralisation du ciment est beaucoup plus forte que dans les dents saines. Ces modifications affectent d'abord le ciment cervical, puis, progressivement, le tissu cémentaire dans son ensemble. Aucune différence, par contre, n'est observée entre la teneur en fluor du ciment des dents parodontosiques et celle des dents saines de même âge.

## Zusammenfassung

Eine quantitative Untersuchung der Mineralsubstanz des menschlichen Zahnzementes wurde mittels verschiedener biophysikalischer Methoden durchgeführt.

In den gesunden Zähnen nehmen die Mineralkonzentration pro Volumeneinheit des Zementes, der Kristallinitätsgrad und der Fluorgehalt der Mineralsubstanz mit dem Alter zu.

Dieser Vorgang, der für das Altern der verkalkten Gewebe charakteristisch ist, ist beim Zement besonders deutlich wegen des Fehlens eines physiologischen Umbaus, wie man ihn zum Beispiel beim Knochengewebe feststellt.

Der Zement impactierter oder semi-impactierter Zähne unterscheidet sich von demjenigen normaler Zähne in Okklusion durch einen schwächeren Mineralisationsgrad.

Bei parodontotischen Zähnen ist die mit dem Alter fortschreitende Zunahme des Kristallinitätsgrades und der Mineralkonzentration pro Volumeneinheit viel grösser als bei gesunden Zähnen. Diese Veränderungen betreffen zuerst den Zervikalzement, dann, mit der Zeit, das gesamte Zementgewebe. Dagegen wurde keinerlei Unterschied im Zementfluorgehalt gleichaltriger parodontotischer und gesunder Zähne festgestellt.

## Summary

A study of the mineral substance of human dental cementum was made by various biophysical methods.

In healthy teeth, average degree of mineralization of the cementum as well as crystallinity and fluoride content of its mineral substance, were found to increase as a function of age. This evolution, typical of the physiological ageing process of calcified tissues, is especially pronounced for the cementum, because of the absence of remodeling activity such as that occurring in bone tissue. Cementum of impacted or semi-impacted teeth was found to have a significantly lower degree of mineralization than that of sound teeth in occlusion.

In periodontally diseased teeth, the increase in crystallinity and degree of mineralization of the cementum as a function of age is considerably greater than that observed in healthy teeth. These changes were found to affect the cervical cement first of all, and progressively, the entire tissue. No difference was observed, however, in the fluoride content of the cement of periodontally diseased teeth and healthy teeth of the same age.

## Bibliographie

- Akiyoshi, M. / Inoue, M.: On the functional structure of the cementum. *Bull. Tokyo Med. dent. Univ.* 10: 41–59, 1963. – Amprino, R. / Camanni, F.: Historiographic and autoradiographic researches on hard dental tissues. *Acta anat.* 28: 217–258, 1956. – Anneroth, G. / Bergman, G. / Welander, E.: Microradiographic study of dental tissues using soft and ultrasoft X-rays. *Odontol. Revy* 17: 131–148, 1966. – Armitage, G. C. / Christie, T. M.: Structural changes in human cementum. II. Electron microscopic observations. *J. periodontol. Res.* 8: 356–365, 1973. – Awazawa, Y.: Electron microscopy of human cementum. *J. Nihon Univ. Sch. Dent.* 5: 127–137, 1963. – Banting, D. W. / Stamm, J. W.: The effect of age and length of residence on cementum fluoride levels in a fluoridated area. *J. dent. Res.* 56: B167, 1977. – Baud, C. A.: Radiographies et microradiographies osseuses quantitatives. *Praxis* 15: 329–331, 1957. – Baud, C. A. / Baud, J. P.: Photométrie automatique de microradiographies. *Acta anat.* 86: 304, 1973. – Baud, C. A. / Gössi, M. / Tochon-Danguy, H. J.: Quantitation of bone tissue mineral under normal and pathological conditions. *Proc. 2nd Int. Workshop Bone Histomorphometry*. Sous presse, 1977. – Baud, C. A. / Morgenthaler, P. W.: Recherches sur l'ultrastructure de l'os humain fossile. *Arch. suisses Anthropol. gén.* 17: 52–65, 1952. – Baud, C. A. / Pouëzat, J. A. / Tochon-Danguy, H. J.: Quantitative analysis of amorphous and crystalline bone tissue mineral in women with osteoporosis. *Calc. Tiss. Res.* 21, suppl.: 452–456, 1976. – Baud, C. A. / Pouëzat, J. A. / Véry, J. M.: Ultrastructure and distribution of mineral salts in POA tissue. In: *Current facts on para-osteo-arthropathy (POA)* (ed. A. B. Rossier et al.). *Paraplegia* 11: 70–71, 1973. – Baud, C. A. / Tochon-Danguy, H. J. / Véry, J. M.: Evaluation quantitative du minéral amorphe et cristallin dans les biopsies osseuses. *Symposium CEMO I*: 152–157, 1976. –

- Bélanger, L.F.*: Resorption of cementum by cementocyte activity ("cementolysis"). *Calc.Tiss. Res.* 2: 229-236, 1968. – *Benson, L.A.*: The surface of cementum. *J.Periodontol.* 30: 126-132, 1959. – *Birkedal-Hansen, H.* | *Butler, W.T.* | *Taylor, R.E.*: Isolation and preliminary characterization of bovine cementum collagen. *Calc.Tiss.Res.* 15: 325-328, 1974. – *Blackwood, H.J.J.*: Intermediate cementum. *Brit.dent.J.* 102: 345-350, 1957. – *Blumenthal N.C.* | *Posner, A.S.* | *Holmes, J.M.*: Effect of preparation conditions on the properties and transformation of amorphous calcium phosphate. *Mat.Res.Bull.* 7: 1181-1189, 1972. – *Boyde, A.* | *Jones, S.J.*: Scanning electron microscopy of cementum and Sharpey fibre bone. *Z.Zellforsch.* 92: 536-548, 1968. – *Brudevold, F.* | *Gardner, D.E.* | *Smith, F.A.*: The distribution of fluoride in human enamel. *J.dent. Res.* 35: 420-429, 1956.
- Brudevold, F.* | *Steadman, L.T.* | *Smith, F.A.*: Inorganic and organic components of tooth structure. *Ann.NY.Acad.Sci.* 85: 110-132, 1960. – *Christner, P.J.* | *Robinson, P.J.*: Characterization of human cementum collagen. *J.dent.Res.* 54: 67, 1975. – *Dahm, S.* | *Furseth, R.* | *Nossum, A.*: The influence of grinding upon the infrared absorption spectrum of adult human dentine. *Calc.Tiss.Res.* 10: 160-166, 1972. – *Dreyfuss, F.* | *Frank, R.*: Microradiographie et microscopie électronique du ciment humain. *Bull.Group.int.Rech.sci.Stomatol.* 7: 167-181, 1964. – *Eastoe, J.E.*: Composition of the organic matrix of cementum. *J.dent.Res.* 54: L137, 1975. – *Ericsson, S.G.*: Quantitative microradiography of cementum and abraded dentine. A methodological and biological study. *Acta radiol., suppl.* 246: 1-137, 1965. – *Frank, R.M.* | *Steuer, P.*: Etude ultra-structurale du ciment cellulaire chez le rat. *J.biol.bucc.* 5: 121-135, 1977. – *Fujii, Y.*: Mineralization pattern of human cementum. *Odontology (Tokyo)* 57: 570-592, 1969. – *Fullmer, H.M.*: Connective tissue components of the periodontium. Cementum. In: Structural and chemical organization of teeth, vol. II (ed. A.E.W.Miles), p. 384-385, Academic Press, New York 1967. – *Furseth, R.*: A microradiographic and electron microscopic study of the cementum of human deciduous teeth. *Acta odont.scand.* 25: 613-645, 1967.
- Furseth, R.*: A microradiographic, light microscopic and electron microscopic study of the cementum from deciduous teeth of pigs. *Acta odont.scand.* 28: 811-831, 1970. – *Furseth, R.*: A study of experimentally exposed and fluoride treated dental cementum in pigs. *Acta odont. scand.* 28: 833-850, 1970. – *Furseth, R.*: Further observations on the fine structure of orally exposed and carious human dental cementum. *Arch.oral Biol.* 16: 71-85, 1971. *Furseth, R.* | *Johansen, E.*: A microradiographic comparison of sound and carious human dental cementum. *Arch.oral Biol.* 13: 1197-1206, 1968. – *Furseth, R.* | *Johansen, E.*: The mineral phase of sound and carious human dental cementum studied by electron microscopy. *Acta odontol.scand.* 28: 305-322, 1970. – *Gedalia, I.* | *Nathan, H.* | *Schapira, J.* | *Haas, N.* | *Feldmann, J.*: Fluoride concentration of surface enamel, cementum, lamina dura and subperiosteal bone from mandibular angle of Hebrews. *J.dent.Res.* 44: 452, 1965. – *Glimcher, M.J.* | *Friberg, U.A.* | *Levine, P.T.*: The identification and characterization of a calcified layer of coronal cementum in erupted bovine teeth. *J.Ultrastruct.Res.* 10: 76-88, 1964. – *Gottlieb, B.*: Biology of the cementum. *J.Periodontol.* 13: 13-17, 1942. – *Gottlieb, B.*: Continuous deposition of cementum. *J.Amer.dent.Ass.* 30: 842-847, 1943. – *Hals, E.* | *Selvig, K.A.*: Correlated electron probe microanalysis and microradiography of carious and normal dental cementum. *Caries Res.* 11: 62-75, 1977.
- Held, A.-J.*: Cementogenesis and the normal and pathologic structures of cementum. *Oral Surg.* 4: 53-67, 1951. – *Henry, J.L.* | *Weinmann, J.P.*: The pattern of resorption and repair of human cementum. *J.Amer.dent.Ass.* 42: 270-290, 1951. – *Herting, H.C.*: Comparaison micromorphologique des trames organiques du ciment et de la dentine. *Bull.Group.int.Rech.sci.Stomatol.* 7: 353-360, 1964. – *Herting, H.C.*: Electron microscope studies of the cementum surface structures of periodontally healthy and diseased teeth. *J.dent.Res.* 46: 1247, 1967. – *Hürzeler, B.* | *Zander, H.A.*: Cementum apposition in periodontally diseased teeth. *Helv.odont.Acta* 3: 1-3, 1959. – *Ishikawa, G.* | *Yamamoto, H.* | *Ito, K.* | *Masuda, M.*: Microradiographic study of cementum and alveolar bone. *J.dent.Res.* 43: 936-937, 1964. – *Jande, S.S.* | *Bélanger, L.F.*: Fine structural study of rat molar cementum. *Anat.Rec.* 167: 439-464, 1970. – *Kerr, D.A.*: The cementum: its role in periodontal health and disease. *J.Periodontol.* 32: 183-189, 1961. – *Kotanyi, E.*: Cementum. In: *Sicher, H.*: Orban's oral histology and embryology, 6th ed., p. 155-175, Mosby, St. Louis 1966. – *Kronfeld, R.*: Die Zementhyperplasien an nichtfunktionierenden Zähnen. *Z.Stomatol.* 25: 1218-1228, 1927.

- Kronfeld, R.: The biology of cementum. *J.Amer.dent.Ass.* 25: 1451-1461, 1938. – Lefkowitz, W.: The formation of cementum. *Amer.J.Orthodont.* 30: 224-240, 1944. – Louridis, O. / Bazopoulou-Kyrkanidou, E. / Demetriou, N.: Age effect upon cementum width of albino rat: a histometric study. *J.Periodontol.* 43: 533-536, 1972. – McCann, H.G.: Determination of fluoride in mineralized tissues using the fluoride ion electrode. *Arch.oral Biol.* 13: 475-477, 1968. – Mierau, H.D.: Ein Beitrag zur Frage des Mineralgehaltes des Zementes menschlicher Zähne. *Dtsch.zahnärztl.Z.* 25: 507-511, 1970. – Nakata, T.M. / Stepnick, R.J. / Zipkin, I.: Chemistry of human dental cementum: the effect of age and fluoride exposure on the concentration of ash, fluoride, calcium, phosphorus and magnesium. *J.Periodontol.* 43: 115-124, 1972. – Neiders, M.E. / Eick, J.D. / Miller, W.A. / Leitner, J.W.: Electron probe microanalysis of cementum and underlying dentin in young permanent teeth. *J.dent.Res.* 51: 122-130, 1972. – Olsen, T. / Johansen, E.: Inorganic composition of sound and carious human cementum. *IADR Abstr.* 50: 91, 1972. – Olsen, T. / Johansen, E.: Inorganic composition of exposed noncarious cementum. *J.dent.Res.* 52, suppl.: 127, 1973. – Paynter, K.J. / Pudy, G.: A study of the structure, chemical nature and development of cementum in the rat. *Anat.Rec.* 131: 233-251, 1958.
- Pouëzat, J.A. / Baud, C.A.: Quantitative microdensitometric evaluation of root dentine mineral content of periodontally diseased human teeth. *Mineral.Tiss.Res.Comm.* 1: L 438, 1975. – Röckert, H.: Variations in the calcification of cementum and dentin as seen by the use of micro-radiographic technique. *Experientia* 12: 16-18, 1956. – Röckert, H.: A quantitative X-ray microscopical study of calcium in the cementum of teeth. *Acta odont.scand.* 16, suppl. 25: 1-68, 1958. – Rygh, P.: Orthodontic root resorption studied by electron microscopy. *Angle Orthodont.* 47: 1-16, 1977. – Selvig, K.A.: An ultrastructural study of cementum formation. *Acta odont.scand.* 22: 105-120, 1964. – Selvig, K.A.: The fine structure of human cementum. *Acta odont.scand.* 23: 423-441, 1965. – Selvig, K.A.: Ultrastructural changes in cementum and adjacent connective tissue in periodontal disease. *Acta odont.scand.* 24: 459-500, 1966. – Selvig, K.A.: Biological changes at the tooth-saliva interface in periodontal disease. *J.dent.Res.* 48: 846-855, 1969. – Selvig, K.A. / Selvig, S.K.: The mineral content of human and seal cementum. *J.dent.Res.* 41: 624-632, 1962. – Selvig, K.A. / Zander, H.A.: Chemical analysis and microradiography of cementum and dentin from periodontally diseased human teeth. *J.Periodontol.* 33: 303-310, 1962.
- Singer, L. / Armstrong, W.D.: Comparison of fluoride contents of human dental and skeletal tissues. *J.dent.Res.* 41: 154-157, 1962. – Soni, N.N. / van Huysen, G. / Swenson, H.M.: A micro-radiographic and X-ray densitometric study of cementum. *J.Periodontol.* 33: 372-378, 1962. – Stepnick, R.J. / Nakata, T.M. / Zipkin, I.: The effects of age and fluoride exposure on fluoride, citrate and carbonate content of human cementum. *J.Periodontol.* 46: 45-50, 1975. – Stern, I.B.: An electron microscopic study of the cementum, Sharpey's fibers and periodontal ligament in the rat incisor. *Amer.J.Anat.* 115: 377-410, 1964. – Termine, J.D.: Amorphous calcium phosphate: the second mineral of bone. Ph.D.Thesis, Cornell University, New York 1966. – Termine, J.D. / Posner, A.S.: Infrared analysis of rat bone: age dependency of amorphous and crystalline mineral fractions. *Science* 153: 1523-1525, 1966. – Thoma, K.H. / Goldman, H.M.: The pathology of dental cementum. *J.Amer.dent.Ass.* 26: 1943-1953, 1939. – Tonge, C.H. / Boulton, E.H.: Collagen in human cementum as shown by electron microscopy. *Nature* 182: 459-460, 1958. – Tonna, E.A.: Factors (aging) affecting bone and cementum. *J.Periodontol.* 47: 267-280, 1976. – Yamada, N.: Fine structure of exposed cementum in periodontal disease. *Bull.Tokyo Med.dent.Univ.* 15: 409-434, 1968.
- Yamamoto, H. / Sugahara, N. / Yamada, N.: Histopathological and microradiographic study of the exposed cementum from periodontally diseased human teeth. *Bull.Tokyo Med.dent.Univ.* 13: 407-421, 1966. – Yardeni, J. / Gedalia, I. / Kohn, M.: Fluoride concentration of dental calculus, surface enamel and cementum. *Arch.oral Biol.* 8: 697-701, 1963. – Yoon, S.H. / Brudevold, F. / Smith, F.A. / Gardner, D.E. / Soni, N.: Distribution of fluorine in teeth and alveolar bone. *J.Amer.dent.Ass.* 61: 565-570, 1960. – Zander, H.A. / Hürzeler, B.: Continuous cementum apposition. *J.dent.Res.* 37: 1035-1044, 1958. – Zipkin, I.: The inorganic composition of bones and teeth. Cementum. In: Biological calcification—cellular and molecular aspects (ed. H.Schraer), p. 96-97, Appleton-Century-Crofts, New York 1970.









